

Petr AGEL¹, Jiří LABUDEK²

OBVODOVÉ KONSTRUKCE PRO PASIVNÍ DOMY S FOUKANOU CELULOZOU

CONSTRUCTION FOR PASSIVE HOUSES WITH BLOWN CELLULOSE

Abstrakt

Aplikace foukaných izolačních materiálů do standardních lehkých skeletů typu two-by-four má jeden technologický problém. Je nutné vyřezat do obvodové desky otvory, což je časově náročné. Nový nosný systém by měl snížit objem použitého řeziva a zároveň zjednodušit aplikaci foukaných izolací. Cílem této práce je popis nového dřevěného konstrukčního systému určeného pro foukané izolace a zároveň teplotní analýza některých detailů. Práce obsahuje také výsledky prvních testů aplikace foukané celulózové izolace. V závěru práce je přiřazeno zhodnocení a výhody nového konstrukčního systému.

Klíčová slova

Dřevěná konstrukce, tepelná izolace, celulóza

Abstract

Application of blown insulations in standard two-by-four insulations has one technological problem. This problem is connected with cutting through the board, which is time demanding. The new system should diminish amount of used timber and make application of blown insulations less difficult. The point of this paper is to describe new timber construction system dedicated for blown insulations and also thermal analysis of constructional details. The paper includes first experimental tests of application of blown cellulose insulation. There are benefits of new designed timber construction system in the conclusion of the paper.

Keywords

Wood construction, thermal insulation, cellulose

1 ÚVOD

Stavební materiály použité v prostorách mezi konstrukčními prvky skeletových stěn vykazují stále lepší termoizolační vlastnosti. Stěnové prvky z masivního dřeva navzdory všem výhodám předávají teplo z interiérového prostoru do exteriéru. Tím jsou tvořeny tzv. tepelné mosty. Tepelný most vzniká v dané konstrukci průnikem (úplným nebo částečným) materiálu s vyšší tepelnou vodivostí, nestejnou vrstvou v konstrukci nebo změnou tloušťky jednotlivých vrstev konstrukce (ložná spára, průnik nosného prvku apod.). Tepelné mosty způsobují značné tepelné ztráty. Jedná se o negativní jev, a proto je nutno jejich vliv eliminovat. Stávající sloupkové systémy dřevostaveb umožňují zateplení stěn pomocí tepelně izolačních desek. Problémy tepelných mostů jsou v praxi vyřešeny použitím plnostěnného I profilu s lepenými pásnicemi z rostlého dřeva. Tento profil však nevyhovuje požadavku snadné aplikace foukané izolace. Aplikace foukaných izolací je

¹ Ing. Petr Agel, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Poděště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 925, e-mail: petr.agel@vsb.cz.

² Ing. Jiří Labudek, Katedra prostředí staveb a TZB, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Poděště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 975, e-mail: jiri.labudek@vsb.cz.

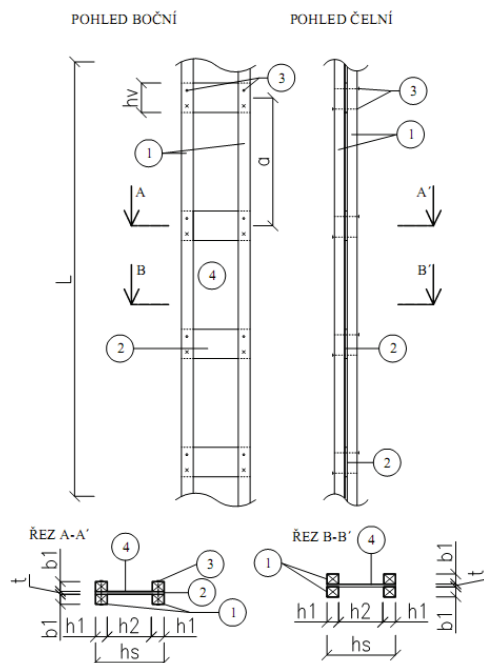
z technologického hlediska znevýhodněna pracností navrtávání potřebných otvorů pro foukání izolaci. Na trhu se vyskytuje stavebnicový systém, složený z malých prvků, který částečně eliminuje i problém aplikace foukaných izolací. Tento systém je však při výstavbě pracný, staticky nevhodně řešený a vyžaduje velkou přesnost a pracnost ve výrobě.

2 POPIS TECHNOLOGIE

Nejčastěji se konstrukce plní z volného prostoru do připravené dutiny. Jedná se o velmi rychlé bezspárové izolování konstrukcí bez vzniku tepelných mostů v izolaci. Další metodou je vyplňování konstrukce předvrtaným otvorem za použití speciální koncovky se zpětným odvodem přepravního vzduchu. Tato metoda je použita při provádění experimentu. Tímto způsobem je možné plnit nejen standardní příčky a předstěny sádkartonového systému, ale i stěny a příčky dřevostaveb. Do optimálně připravené konstrukce lze tepelnou izolaci nafoukat, tak aby měla izolace relativně velkou objemovou hmotnost. Použitá objemová hmotnost se zvyšuje od 35 kg/m^3 . U kolmých stěn a příček se ideálně objemová hmotnost pohybuje okolo $60\text{--}70 \text{ kg/m}^3$. Tímto postupem je docílena objemová stálost aplikované izolace po celou dobu životnosti celé konstrukce – nedochází k nežádoucímu sesednutí izolace. Vnitřní struktura aerogelu se skládá z křemičitých dutých koulí o velikosti řádově několika nanometrů.

3 VÍCEÚČELOVÝ DŘEVĚNÝ NOSNÝ PRVEK

- Ze statického hlediska se jedná o členěný prut
- Nosné stojky + laťové profily
- Spojovací vložky OSB deska, tl.: 15mm
- Možnost spojování – sponky, hřebíky, vruty
- Únosnost: Od 80 kN do 140 kN



Tab. 1: Seznam symbolů a značek

Značení	Význam
1	pásnice I nosníku - lať dřevěná - dřevo třídy S13
2	rámové vložky členěného prutu - OSB deska
3	spoj vložky a pásnice - hřebíkový, nebo vrutový
4	paropropustná folie
l	výška profilu
h_v	výška OSB vložky
a	osová vzdálenost vložek
hl	výška průřezu latě
h2	vzdálenost pásnic I profilu
bl	šířka průřezu latě
t	tloušťka vložky
hs	mocnost stěny

Obr. 1: Provedení nosného prvku
pro foukané izolace

4 PRÍNOS NOSNÍKŮ SKLÁDANÉHO PRŮŘEZU Z HLEDISKA KONSTRUKCE

4.1 Subtilnější rozměry

Dnešní konstrukční systémy bývají často předimenzovány a to z důvodu vkládání stále větších tloušťek izolačních materiálů. Toto předimenzování má dva následky:

A) Zvýšený objem řeziva na celou stavbu

Zde je potřeba zdůraznit, že se nejedná pouze o sloupky samotné, které bývají tvořeny fošnami o maximálním rozměru 60/160. Jde také o přidavné laťování a to často v obou směrech, do kterého se zakládá přidavné zateplení. Zatímco u skládaných nosníků odpadá problém dalších přidavných izolací. Tab. 2 porovnává vlastnosti standardního sloupku typu „two by four“ a nosníku složeného průřezu.

Tab. 2: Srovnání klasických prvků a nosníků skládaného průřezu

Typ konstrukce	Tloušťka stěny [mm]	Cena [Kč]	Dimenze sloupku [mm]	Objem dřeva na jeden sloupek [m ³]	Únosnost prvku [kN]	Součinitel prostupu tepla U [W/m ² K]	Lineární tepelná propustnost L ^{2D} (W/mK)	Šířka charakteristického výseku [m]
I nosník	160	810	4x40x40	0,02	81,33	0,14	0,08	0,6
Fošna		810	40x160	0,02	68,94	0,14	0,08	0,6
I nosník	180	810	4x40x40	0,02	81,33	0,13	0,08	0,6
Fošna		910	40x180	0,02	89,19	0,13	0,08	0,6
I nosník	200	1010	4x40x50	0,02	119,27	0,12	0,07	0,6
Fošna		1010	40x200	0,02	109,05	0,12	0,07	0,6
I nosník	240	1010	4x50x50	0,02	149,10	0,11	0,07	0,6
Fošna		1010	40x240	0,02	145,75	0,11	0,07	0,6
I nosník	300	1510	4x60x50	0,04	191,60	0,10	0,06	0,6
Fošna		2270	60x300	0,05	293,30	0,11	0,06	0,6
I nosník	350	1550	4x60x60	0,04	149,10	0,09	0,06	0,6
Fošna		-	-	-	-	-	-	-

B) Nižší poměrné přetvoření sesycháním

Dřevo je na stavbu ve většině případů dopravováno s vysokou vlhkostí a při dosychání na sorpční vlhkost ztrácí objem a deformuje se kroucením po výšce prvku. Přičemž celková deformace je přímo úměrná rozměrům prvku. Proto rozdělení celého nosného průřezu na menší a pravidelné prvky snižuje celkovou deformaci sesycháním.

4.2 Použitím skládaného nosníku je možné předejít určitým problémům při statickém návrhu

A) Bezproblémové dodržení doporučených vzdáleností od okrajů a konců pro spojovací prostředky opláštění

Při předpokládaném použití hřebíků pro kotvení opláštění stavby je potřeba dodržení minimálních vzdáleností od okrajů a konců a mezi spojovacími prostředky (viz 8.3.1.2 [1])

Při použití hřebíku 60x2,8mm jsou požadované vzdálenosti tyto:

$$a_2 = 5d = 5 \cdot 2,8 = 14 \text{ mm}$$

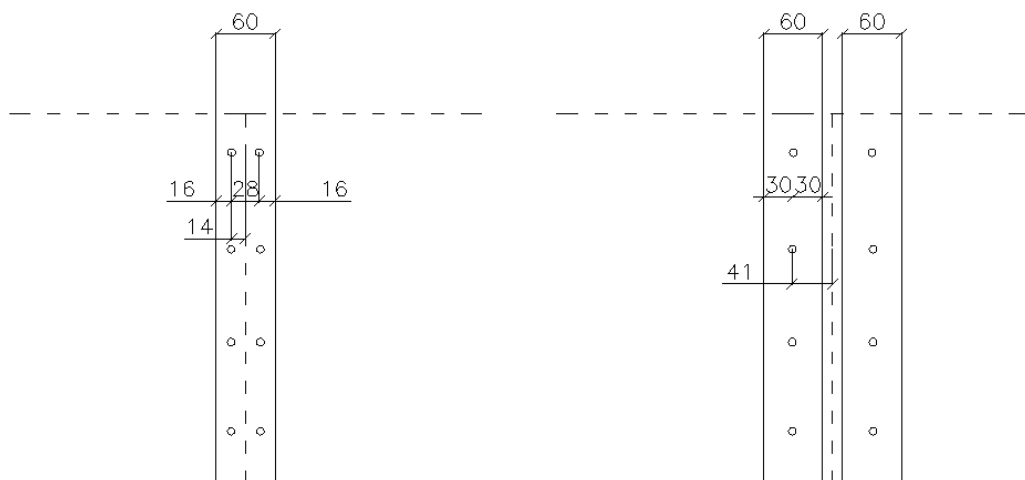
$$a_{3,t} = (10 + 5 \cos \alpha)d = (10 + 5 \cos 90^\circ)2,8 = 28 \text{ mm}$$

$$a_{3,c} = 10d = 10 \cdot 2,8 = 28 \text{ mm}$$

Provedení spoje jak při použití sloupku klasického čili fošny tl. 60 mm a spoje při použití nosníku složeného průřezu viz obr. 2. Z obrázku jasně vyplývá, že při použití klasického konstrukčního systému nelze dodržet minimální vzdálenosti spojů, při použití složeného průřezu

klasický spoj OSB na sloupku

spoj OSB na složeném průřezu



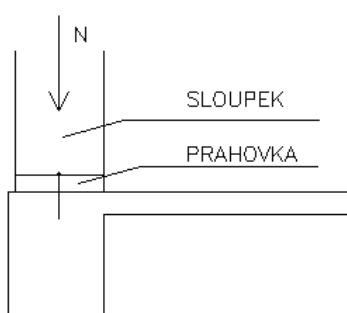
to lze.

Obr. 2: Provedení spoje dvou OSB desek na svislém prvku dřevostavby

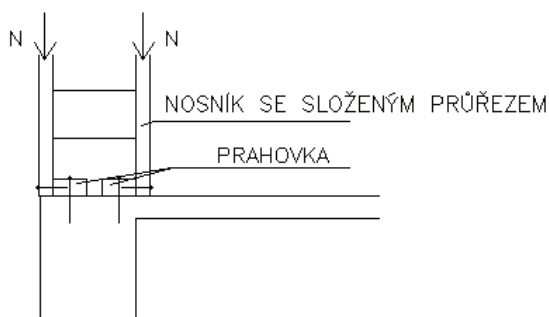
B) Odstranění problému s nevyhovujícím otláčením kolmo k vláknům

Pro svislé prvky dřevostaveb, není kritickým namáháním vzpěrný tlak, neboť ten působí po směru vláken. Jako nevyhovující se nejčastěji ukazuje tlak kolmo k vláknům na usazení sloupku na tzv. „prahovku“. Založení systému nosníků složeného průřezu používá prahovky dvě, ty jsou od sebe odděleny. Je tak eliminován tepelný most stejně tak jako otláčení kolmo na vlákna. Sloupkové prvky totiž na prahovku nedosedají, ale jsou k ní z boku kotveny vruty nebo hřebíky viz obr. 3.

KLASICKÝ SYSTÉM



SYSTÉM S NOSÍKEM
SE SLOŽENÝM PRŮŘEZEM



Obr. 3: Založení systému nosníků v místě založení stavby

5 TEPELNÉ TECHNICKÉ POSOUZENÍ

Tepelně technické posouzení a výpočty jsou zpracovány dle ČSN 73 0540 [2]. Tato norma stanovuje požadavky na šíření tepla, vlhkosti a vzduchu konstrukcemi a budovami. Cílem konstrukční stránky tepelně technického návrhu je zajištění celistvého izolačního obalu budovy. Součinitel prostupu tepla U , případně tepelný odpor konstrukce R , se hodnotí ustáleným tepelným tokem prostupujícím celými konstrukcemi včetně vlivu tepelných mostů v nich zabudovaných. Součinitel prostupu tepla konstrukcí U vyjadřuje celkovou výměnu tepla mezi prostory oddělenými od sebe danou konstrukcí o tepelném odporu R . Vzájemný vztah součinitele prostupu tepla U [$W/(m^2 \cdot K)$] a tepelného odporu R [$(m^2 \cdot K)/W$] je dán výrazem:

$$U = \frac{1}{R_T} [W/(m^2 \cdot K)] \quad (1)$$

kde:

R_T odpor konstrukce při prostupu tepla [$(m^2 \cdot K)/W$]

Ve vytápěných nebo klimatizovaných budovách musí v prostorech s relativní vlhkostí vnitřního vzduchu $\phi_i < 60\%$ všechny konstrukce splňovat podmínku:

$$U \leq U_N \quad (2)$$

kde:

U_N je požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla ve [$W/(m^2 \cdot K)$]

Vhodným programem je možné provést i nejpřesnější výpočet součinitele prostupu tepla v místě charakteristického tepelného mostu. Výpočet je vyjádřen lineární tepelnou propustností L^{2D} [$W/(m \cdot K)$], která se stanovuje řešením pomocí výpočtu dvourozměrného teplotního pole pro charakteristický výsek konstrukce. Přepočtem L^{2D} získáme součinitel prostupu tepla U [$W/(m^2 \cdot K)$]. Při tomto výpočtu je velmi důležité především správné zadání geometrie charakteristického výseku a okrajových podmínek. Jakmile je k dispozici vypočtené dvourozměrné teplotní pole v charakteristickém výseku konstrukce, lze její součinitel prostupu tepla vyjádřit postupně ze vztahů:

$$U = \frac{L^{2D}}{b} \quad (3)$$



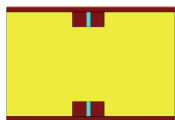
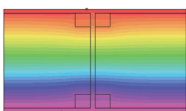
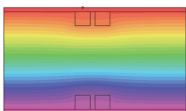
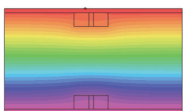
kde:

b šířka hodnoceného výseku [m]

L^{2D} tepelná propustnost výsekem konstrukce [$W/(m \cdot K)$]

V průběhu experimentů došlo k nedokonalému zafoukání v oblasti rámové spojky. Z tohoto důvodu bylo modelování doplněno o variantu se vzduchovou mezerou ve zmíněném místě. Dle modelování nemá tato změna oproti navrženému stavu vliv na součinitel prostupu tepla U .

Tab. 3: Srovnávací tabulka modelovaných variant

Typ konstrukce – obvodový plášť	V místě tepelného mostu	Mimo tepelný most	Mimo tepelný most – se vzduchovou mezerou
Modelovaný stav – úsek 600 mm			
Teplotní pole modelovaného úseku			
Teplotní faktor vnitřního povrchu $f_{Rsi,N}$ [-] Požadované hodnoty	0,793	0,793	0,793
Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} [-] - Vypočtené hodnoty	0,951	0,956	0,956
Vyhodnocení $f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N}$	Vyhovuje	Vyhovuje	Vyhovuje
Propustnost L	0,08724	0,08401	0,08412
Součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [W/(m ² .K)] - Doporučené hodnoty	0,30	0,30	0,30
Součinitel prostupu tepla U [W/(m ² .K)] - Vypočtená hodnota	0,1454 \approx 0,15	0,1400 \approx 0,14	0,1402 \approx 0,14
Vyhodnocení $U \leq U_N$	Vyhovuje	Vyhovuje	Vyhovuje

6 EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ NAVRŽENÉ KONSTRUKCE

Hlavním cílem experimentů bylo ověřit a prozkoumat aplikaci foukané tepelné izolace do vyvinutého dřevěného konstrukčního systému budovy. Naším základním cílem bylo v rámci těchto testů zjistit, zda foukaná tepelná izolace bezezbytku vyplní všechny prostory obvodové konstrukce v oblasti nosných prvků. Výsledky těchto testů jsou dále zapracovány do vývoje tohoto konstrukčního systému. Experimenty byly vytvořeny a navrženy ve spolupráci s firmou zabývající se výrobou foukaných tepelných izolací.

Na počátku příprav experimentů byly stanoveny dvě základní hypotézy:




- Při experimentech bude prokázána funkčnost a aplikovatelnost tepelných izolací do nové konstrukce dřevostaveb
- Bude provedeno měření sednutí foukané izolace.

Celkově byly navrženy tři základní prvky pro ověřování:

- Segment obvodové konstrukce
- Segment rohu stěny
- Segment obvodové konstrukce v místě osazení okenního prvku.

U všech prvků byl proveden test, zda je možno tyto prvky bezchybně zafoukat tepelnou izolací. Segment obvodové konstrukce byl testován na sednutí foukané izolace, pomocí rázové dynamické zkoušky. Tato zkouška spočívá v zavěšení vyrobeného kusu (segmentu obvodové stěny) na ocelovou konstrukci a pomocí volného pádu a dynamických rázů je testováno sednutí tepelné izolace uvnitř segmentu. Sednutí se neprokázalo. Objemová hmotnost dosáhla $74,40 \text{ kg/m}^3$.

Tab. 4: Zkoušené fáze zkušební vzorku obvodového pláště

Stav před zafoukáním odpláštěného zkušební vzorku	Kompletně zafoukaný odpláštěný zkušební vzorek	Stav po vyčištění středního pole – ověření pevnosti osazení perlínky
		

U segmentu rohu stěny bylo ověřování doplněno novým postupem plnění meziprostor v obvodovém plášti. Toto specifické místo se vyznačuje potenciálním problematickým zafoukáním, jelikož je nutno konstrukci plnit dvěma směry. Pro experiment byl sestaven zkušební kus (segment obvodové konstrukce budovy). Zkušební kus má rozměr $1 \times 1,2 \times 1,2 \text{ m}$. Je sestaven z OSB desek tl. 15 mm a základních nosných prvků nové dřevěné konstrukční soustavy. Při měření měl zkušební prvek po zafoukání hmotnost 162 kg . Objemová hmotnost dosáhla $67,54 \text{ kg/m}^3$. Ve zkušebním prvku je osazen průhledný prvek z plexiskla, aby bylo možno sledovat zafoukávání rohu stěny.

Pro experiment byl dále vyroben zkušební kus o rozměrech 2x2,6x0,43 m. Je také sestaven z OSB desek tl.15mm a základních nosných prvků nové dřevěné konstrukční soustavy. V tomto zkušebním prvku bylo ověřováno zafoukání v atypických částech dřevostaveb, tzn. parapet a nadpraží okenního prvku. Do konstrukce byl opět osazen průhledný prvek z plexiskla v místě osazení okenního prvku, aby bylo možno sledovat zafoukávání. Při měření měl zkušební prvek po zafoukání hmotnost 282 kg. Objemová hmotnost dosáhla 65,8 kg/m³.

Připravili jsme experimenty, které si kladly za cíl otestovat a zhodnotit vhodnost nového dřevěného nosného konstrukčního prvku pro aplikace foukaných izolací. Shrneme-li přínos experimentů, ten spočíval především v ověření aplikace foukané izolace do konstrukce s otevřenými nosníky opatřenými difúzní folií (perlinkou). Experimentální ověření má obecnější ověřovací platnost přesahující rámec těchto zkušebních vzorků.

7 ZÁVĚR

Dle výsledků experimentálních testů a tepelně technických modelů konstrukce je zřejmé, že použití prvků složeného průřezu má z hlediska tepelných i konstrukčních dostatek výhod. Je otázkou, zda tyto výhody budou dostatečnou protiváhou pro zvýšenou pracnost výroby a tedy cenu konstrukčních prvků. Pokud by se konstrukce projevila jako konkurenceschopná na trhu, bude žádoucí vytvořit celý nový konstrukční systém založený výhradně na použití těchto prvků. Tento systém musí projít statickým návrhem, který bude obsahovat i výpočet požární odolnosti, návrhy detailů, řešení spojů a styku a vývoj ideálního opláštění takové konstrukce.

V rámci certifikace celého systému je také nutné provedení požární zkoušky, kterou lze prokázat celistvost konstrukce, její izolaci, nebo sálání tepla.

Na konci by mohl být konstrukční systém vhodný pro sériovou výrobu malých a středních nízkoenergetických a pasivních budov.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl vytvořen v rámci projektu „tvorba a internacionalizace špičkových týmů a zvyšování jejich excelence na Fakultě stavební VŠB – TUO“ členy výzkumné skupiny katedry prostředí staveb a TZB v rámci tématu „výzkum v oblasti pasivních domů v tuzemských podmínkách s ohledem na transpozici EPBD 2 do národních právních předpisů“.

LITERATURA

- [1] ČSN 1995 -1-1 Navrhování dřevěných konstrukcí – obecné zásady
- [2] ČSN 73 0540 – 1-4/2007 – Tepelná ochrana budov, ČNI 2007

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Pavol Ďurica, CSc., Katedra pozemního stavitel'stva a urbanizmu, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita v Žiline.

Ing. Isabela Bradáčová, CSc., Katedra požární ochrany, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.